

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Zařízení pro telemetrii dat z bezpilotního letounu pro měření  
kvality ovzduší

Telemetry Equipment for Air Quality Measurement UAV

Student:

Jakub Závorka

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Institut dopravy

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Závorka**  
Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy  
Studijní obor: 3708R036 Technologie letecké dopravy  
Téma: Zařízení pro telemetrii dat z bezpilotního letounu pro měření kvality ovzduší  
Telemetry Equipment for Air Quality Measurement UAV

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analýza způsobů komunikace a datových přenosů pro UAV
2. Zařízení pro komunikaci a přenos dat UAV Stalker
3. Zálet a zprovoznění UAV MPG a UAV vzducholodi
4. Návrh a instalace komunikačních zařízení do uvedených UAV
5. Provedení letů s datovým přenosem.
6. Zhodnocení a závěry

Seznam doporučené odborné literatury:

VOLNER, R.: Digitální technologie - elektronické přístrojové systémy, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007  
Datasheet SHT1x: Humidity and Temperature Sensor IC. 2011. Dostupné z:  
[http://www.sensirion.com/fileadmin/user\\_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity/Sensirion\\_Humidity\\_SHT1x\\_Datasheet\\_V5.pdf](http://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity/Sensirion_Humidity_SHT1x_Datasheet_V5.pdf)  
TECHNICAL DATA MQ-135 GAS SENSOR. 2014. Dostupné z:  
<http://www.futurlec.com/Datasheet/Sensor/MQ-135.pdf>  
Circular Wireless [online]. 2014 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: [http://www.circular-wireless.com/en/DX8\\_DSMX\\_Spektrum\\_AR8000\\_TM1000](http://www.circular-wireless.com/en/DX8_DSMX_Spektrum_AR8000_TM1000). [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z:  
<http://www.astramodel.cz/cz/katalog/spektrum/dx8-dsmx-spektrum-ar8000-tm1000-mod-1-4-p16284.html>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

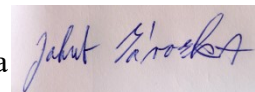


## **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 21. 4. 2016

Podpis studenta

Handwritten signature of Jakub Štrobek in blue ink on a light background.

### ***Poděkování***

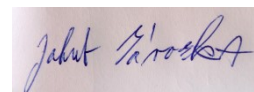
*Chtěl bych poděkovat Lukášovi Vachatovi za spolupráci na tomto projektu a hlavně vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Petrovi Jančíkovi, Ph.D za jeho trpělivost, vstřícnost, rady a obětavý přístup při řešení problémů spojených s tvorbou této bakalářské práce.*

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21. 4. 2016

Podpis studenta



Jméno a příjmení autora práce:

Jakub Závorka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Palkovice 835

739 41

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

ZÁVORKA, J. *Zařízení pro telemetrii dat z bezpilotního letounu pro měření kvality ovzduší*. Ostrava: VŠB – Technická Univerzita Ostrava, Fakulta strojů, institut dopravy – Ústav letecké dopravy, 2016, 60 s.

Vedoucí práce: doc. Ing. Jančík Petr, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá analýzou způsobů komunikace a datových přenosů, které se používají pro UAV. Dále se zabývá použitými prostředky pro komunikaci a přenos dat, které byly použity na letounu Stalker. Výstupem práce bude vyhotovení pouzdra, a v něm nainstalovaných metrologických snímačů, které se upevní do motorového paraglidu. Dále bude provedeno zprovoznění a zálet kluzáku včetně letů s měřením.

## **ANOTATION OF BACHALOR THESIS**

ZÁVORKA, J. *Telemetry equipment for air quality measurement UAV*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport – Department of Air Transport, 2016, 60p.

Theasishhead: doc. Ing. Jančík Petr, Ph.D.

The bachelor thesis deals with the analysis of ways of communication and data transfers, which are used in UAV. It also deals with communication and data transfers equipment that was used on Stalker aircraft. The outcome of this work will be case with installed metrology sensors. Case will be attached to a motor paraglide. There will be also commissioning and do a test flying including flights with the measurements.

## **Seznam zkratek a použitých symbolů**

UAV	Bezpilotní letoun
NiMH	Nikl-metal hydridový
NiCD	Nikl-kadmiový
LiPol	Lithium-polymerový
UAS	Bezpilotní systém
ČTÚ	Český telekomunikační úřad
PM	Prachové částice
ISM	Pásmo průmyslové, vědecké, zdravotní
GSM	Globální systém pro mobilní komunikaci
WiFi	Bezdrátová komunikace
RPM	Otáčky za minutu

### **Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce je zprovoznit a použít dodané snímače pro měření meteorologických dat. Navrhnout pouzdro, do kterého se tyto prvky nainstalují a které bude vyhovovat správnému uložení do konstrukce motorového kluzáku, včetně možnosti jednoduchého odejmutí pro snadnou manipulaci.

Dalším cílem této práce je finální zálet se všemi nainstalovanými prvky a testování správnosti jejich funkcí a spolehlivosti s následným vyhodnocením naměřených dat.



# Obsah

Úvod.....	11
1 Historie bezpilotních prostředků .....	12
1.1 Využití bezpilotních prostředků.....	12
1.1.1 Vojenské .....	12
1.1.2 Civilní .....	12
1.2 Rozdělení UAV.....	13
2 Komunikace a datové přenosy .....	14
2.1 Teorie metrologie, telemetrie.....	14
2.2 Komunikace pomocí vysílače .....	14
2.3 Přijímač .....	15
2.4 Frekvence.....	15
2.5 Řízení krátkého dosahu – volná pásma.....	17
2.6 Pásmo 2,4 GHz až 5,8 GHz .....	18
2.7 Pásmo pro UAV .....	18
3 UAV Stalker - OK-VSB-002 .....	20
3.1 Technické parametry.....	20
3.2 Technologie řízení bezpilotního letounu .....	21
3.3 Pozemní řízení .....	21
3.3.1 Vysílací souprava.....	22
3.4 Technologie pro přenos dat.....	22
3.4.1 Telemetrie systému autopilota .....	22
3.4.2 Meteorologická data a video .....	22
3.5 Použité antény.....	23
3.6 Přenosová souprava .....	24
3.7 Přizpůsobení letounu Stalker .....	25
4 UAV motorový kluzák a vzducholod' .....	27

4.1	Motorový kluzák.....	27
4.1.1	Technické parametry.....	27
4.1.2	Předletové úkony .....	30
4.1.3	Letové fáze.....	32
4.2	UAV vzducholod'.....	32
4.2.1	Technické parametry.....	33
4.2.2	Předletové úkony .....	35
4.2.3	Letové fáze.....	35
5	Návrh komunikačních zařízení .....	37
5.1	Metrologické systémy užívané v UAV MPG a UAV vzducholodi .....	37
5.2	Sestavení .....	40
6	Provedení letů se zápisem dat .....	45
6.1	1. Měření.....	46
6.1.1	1. Vyhodnocení měření.....	47
6.2	2. Měření.....	49
6.2.1	Vyhodnocení měření.....	49
6.3	Zhodnocení obou měření .....	52
	Závěr .....	53
	Použitá literatura .....	55
	Seznam obrázků.....	58
	Seznam tabulek.....	59
	Seznam grafů .....	60

## Úvod

V dnešní době se technika ubírá velmi rychlým tempem vpřed. Dalo by se říct, že věci, které jsou nejlepší dnes, zítra už být nemusí. Toto pravidlo platí v posledních letech právě u bezpilotních prostředků a technologií v nich uložených.

Tato bakalářská práce vznikla v rámci výzkumného projektu, do něhož jsem se během studia zapojil spolu se svým kolegou Lukášem Vachatou, který pracuje na zprovoznění a záletu kluzáku.

Tento projekt, který se zabývá měřením kvality ovzduší pomocí bezpilotních prostředků, přiblíží také vzducholod' a letadlo Stalker.

Motorový padákový kluzák vyrobený firmou Sky Paragliders ve spolupráci s Valach motors je v pořadí poslední letoun, obdrženy začátkem roku 2015, který bude vybaven systémy pro měření kvality ovzduší. Systémy budou uloženy v pouzdru, které bude odnímatelné a bude disponovat snadnou manipulací.

Kluzák je schopen startovat a přistávat na malé ploše, což je velkou výhodou z pohledu operativnosti, jelikož lze začít měření téměř kdekoliv a s jeho snadnou manipulací můžeme začít měřit do několika minut.

Motorový kluzák bude pomocí snímačů shromažďovat meteorologická data, jako jsou teplota, množství polétavých částic v ovzduší, vlhkost a oxid uhelnatý v dané měřené lokalitě. Naměřená data budou zaznamenávána pro následné vyhodnocení.

# **1 Historie bezpilotních prostředků**

Bezpilotní letouny Unmanned aerial vehicle, dále UAV, se prvně začaly používat pro vojenské účely. Jejich historie sahá až do 2. Světové války, kdy byly tyto UAV použity jako naváděné bomby. Po válce to byl následně UAV letoun BQM-34 Firebee, který byl používán americkou armádou pro bombardování cílů ve válce s Vietnamem. Největší rozmach bezpilotních letounů nastal v poslední době, kdy byl zahájen boj s terorismem [1].

## **1.1 Využití bezpilotních prostředků**

UAV jsou používány jak pro vojenské, tak pro civilní použití.

### **1.1.1 Vojenské**

Aspekty, které mají podstatnou váhu pro vojenská využití, jsou ta, že umožňují ochranu lidského života. Při sestřelení stroje nedochází k ohrožení života pilota, jelikož obsluha z řídicího stanoviště může být na kilometry daleko, nemusíme brát ohledy na fyziologické vlastnosti pilota a v neposlední řadě jsou náklady na provoz této techniky velmi malé. Armáda díky nim může snadno získávat informace o protivníkovi nebo mapovat neznámý terén [1].

### **1.1.2 Civilní**

V civilní sféře jsou UAV využívány pro rekreační účely. Jejich největší předností je malá pořizovací cena a dnes celkem slušný dolet i vytrvalost letu. Možné budoucí využití pro:

1. energetiku - kontrolu ropovodů, plynovodů
2. stavebnictví
3. dopravu - sledování provozu
4. zemědělství - sledování plodin a jejich postřik pesticidy a hnojiv
5. geologii - průzkum těžko dostupných oblastí
6. přepravu nákladů

a mnoho dalších možností, které se naskytují s inovacemi a novými technologiemi. Pro tyto účely vybíráme UAV z různých druhů a typů [1].

## 1.2 Rozdělení UAV

Bezpilotní prostředky nejčastěji dělíme podle velikosti výkonů jako jsou dolet a dostup. Hmotnostní rozdělení UAV:

- a) Mikro UAV (Micro air vehicle), které se pohybuje s hmotností do několika gramů.
- b) Mini UAV (MUAV), které má velikost lidské ruky a s hmotností nepřesahující 0,5 kg.
- c) Malé UAV (SUAV), které je přenosné a váhou do několika kilogramů.
- d) Operačně taktické UAV s hmotností až stovek kilogramů.
- e) Strategické UAV, které se svou hmotností a velikostí blíží dopravním letadlům.

Všechny tyto uvedené kategorie mají společné to, že se jedná o letouny těžší než vzduch. Do kategorie lehčí než vzduch spadají říditelné vzducholodě a balony [1].

## **2 Komunikace a datové přenosy**

V této kapitole se budeme zabývat možnými způsoby komunikace a datovým přenosem mezi „vysílačem“ (pozemní jednotkou v rukách pilota) a „přijímačem“ (letová jednotka v modelu), které se využívají při provozu.

### **2.1 Teorie metrologie, telemetrie**

V této kapitole následně popíšeme termíny metrologie a telemetrie.

#### **Metrologie**

Metrologie je obor, který se zabývá jednotností a správností měření různých chemických, fyzikálních a jiných veličin. Jsou realizovány pravidly například jako jednotky soustavy SI. Metrologie má jeden základní úkol a to zabezpečit jednotnost a přesnost měření [2].

#### **Telemetrie**

Telemetrie je technologie, jejíž účelem je měření na dálku a dálkový přenos dat. Tento název je složen ze dvou řeckých slov tele – vzdálený a metron – měřidlo. Data jsou brána z jednoho či více měřidel a přenosové cesty. Při měření fyzikálních veličin se vyžaduje splnění přesnosti v rozsahu změn a také rychlosti změn [3, 4].

### **2.2 Komunikace pomocí vysílače**

Pro komunikaci a řízení UAV používáme vysílací soupravy, které se skládají z vysílače a odpovídajícího přijímače. Vysílače mohou být pákové nebo volantové. Jelikož se volantové vysílače používají především pro ovládání modelů aut a lodí, není třeba se jimi dále zabývat.

Zajímat nás budou vysílače pákové. Tyto vysílače se od sebe liší počtem kanálů a tvarem. Mezi nejzákladnější vysílače patří dvoukanálové se dvěma páčkami, kdy jedna z páček se pohybuje nahoru a dolů a slouží pro dávkování plynu. Druhá páčka se pohybuje do stran a slouží ke směrovému ovládání. U vícekanálových vysílačů jsou obě páčky dvouosé (mohou se pohybovat do boku, nahoru a dolů, tudíž jedna páčka může ovládat dvě funkce). Vysílač může mít vypínače a přepínače pro aktivaci mixů nebo pro ovládání dalších kanálů. Pomocí páček řídíme první čtyři kanály, ovšem toto nastavení nemusí vyhovovat pro všechny letouny, proto se jejich chování může dále programově upravit.

Po zapnutí vysílač vysílá neustále bez ohledu na to, jestli hýbeme páčkami. Tento aspekt musíme brát v potaz hlavně u rádií, která fungují na frekvencích. Může dojít k rušení frekvencí a ztrátě kontroly nad letounem v momentě, kdy by se v blízkosti nacházel vysílač vysílající na stejné frekvenci a stejném kanále.

Vysílač musíme také něčím napájet. Dle typu vysílače lze použít jednotlivé baterie vkládající se do držáků. Pokud lze do vysílače vkládat jednotlivé články, používáme většinou nabíjecí NiMH nebo NiCD. Další možností, kterou lze pro napájení použít, je sada NiXX článků, což jsou jednotlivé články k sobě spájené. Nejčastějším a nejlepším způsobem používaným pro napájení jsou LiPol články. Jejich velkými výhodami jsou dlouhá výdrž a oproti ostatním druhům krátká doba nabíjení. Podmínkou je ovšem podpora vysílače pro použití LiPol baterií [5].

## 2.3 Přijímač

Druhým koncem vysílací soupravy je právě přijímač. Ten bývá zpravidla umístěn na letounu. Jeho hlavní funkcí je překládat povely, které vysíláme vysílačem na povely, kterým rozumí serva a další elektronické systémy, které jsou připojeny. Podle typu může mít přijímač jednu či několik antén. Pracuje na frekvenci 2,4 GHz [5].

## 2.4 Frekvence

Frekvenční spektrum je v dnešní době rozděleno do oblastí, kde jsou frekvence rozděleny dle rozsahu. Ovšem tyto pásma nemůžeme používat dle libosti a jejich přidělování pro různé účely má nastarost ČTÚ. Rozdělení pásem je detailně vymezeno v dokumentu, který se nazývá Plán přidělení kmitočtových pásem.

Musíme si uvědomit, že pro řízení a přenos telemetrických dat u bezpilotních letounů nejsou některá pásma dostupná vůbec. Jsou to kupříkladu:

- 49 MHz je pásmo, které není povoleno využívat z důvodu rušení rozhlasové služby a necivilních aplikací
- 230-400 MHz je pásmo, které je vyhrazeno striktně pro účely obrany státu, tudíž není přípustný civilní provoz
- 789-823 MHz a 832-862 MHz jsou pásma, ve kterých je od 1.1.2013 zakázáno provozování bezdrátových mikrofónů
- 870-960 MHz je pásmo, které vyhrazeno pro provoz mobilních telefonů GSM, jiné provozování aplikací je zakázáno

- 1,2 GHz je pásmo, které je v Evropě zakázáno využívat pro zařízení krátkého dosahu [6]

Z důvodu rušení signálu veřejnoprávní televize je zakázáno využívání následujících frekvencí:

Kanál	Kmitočet [MHz]
5	177,5
6	184,5
7	191,5
8	198,5
9	205,5
10	212,5
11	219,5
12	226,5
21	474
22	482
23	490
24	498
25	506
26	514
27	522
28	530
29	538
30	546
31	554

Kanál	Kmitočet [MHz]
32	562
33	570
34	578
35	586
36	594
37	602
38	610
39	618
40	626
41	634
42	642
43	650
44	658
45	666
46	674
47	682
48	690
49	698
50	706

Kanál	Kmitočet [MHz]
51	714
52	722
53	730
54	738
55	746
56	754
57	762
58	770
59	778
60	786
61	794
62	802
63	810
64	818
65	826
66	834
67	842
68	850
69	858

*Tabulka 1– Kmitočty kanálů České televize [7]*



## 2.5 Řízení krátkého dosahu – volná pásma

Do kategorie zařízení krátkého dosahu spadají veškerá zařízení pro dálkové řízení letounu a přenos telemetrických dat. Ovšem provoz těchto zařízení je upraven všeobecným oprávněním č. VO-R/1004.2012-7, konkrétně vymezeno článkem 3, který nám přesně určuje podmínky, které jsou dané pro nespécifikované stanice krátkého dosahu. Dle zmíněného článku 3 se pro náš účel jedná o tato pásma:

- 6765-6795 kHz
- 13,553-13,567 MHz
- **26,957-27,283 MHz**
- 40,660-40,700 MHz
- 138,200-138,450 MHz
- 433,050-434,790 MHz
- 433,050-434,790 MHz
- 433,050-434,790 MHz
- 863,000-870,000 MHz
- 868,000-868,600 MHz
- 868,700-869,200 MHz
- 869,300-869,400 MHz
- 869,400-869,650 MHz
- 869,700-870,000 MHz
- 869,700-870,000 MHz
- **2400-2483,5 MHz**
- **5725-5875 MHz**
- 24,000-24,250 GHz
- 61,0-61,5 GHz
- 122-123 GHz
- 244-246 GHz

Článek 3 nám k těmto pásmům uvádí další doplňující informace jako je maximálně vyzářený výkon, popřípadě intenzita magnetického pole, kanálovou rozteč a další. Pásma, která jsou tučně zvýrazněna, mají pro oblast UAV podstatný význam [8, 9].

## 2.6 Pásmo 2,4 GHz až 5,8 GHz

Jak jsme již dříve zmínili, všechna rádiová zařízení pracují na nějaké frekvenci. Pro nás jsou významnými pásmy 2,4 GHz až 5,8 GHz. Ovšem provoz v těchto pásmech nám upravuje již dříve zmíněné všeobecné oprávnění č. VO-R/10/04.2012-7, také i všeobecné oprávnění č. VO-R/12/09.2010-12 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pro širokopásmový přenos dat v pásmech 2,4 GHz až 66 GHz.

Pokud bychom se zaměřili na pásmo 2,4 GHz, tak je to pásmo, ve kterém jsou provozovány bezdrátové sítě jako je WiFi, či jiná zařízení pracující v tomto pásmu, která pracující s technologií Bluetooth apod.

Pásmo od 5 GHz se rozděluje na podpásmo, která mají striktně daná určitá provozní omezení, kde se podle lokace smějí využít, např:

- 5150 - 5250 MHz – určeno pouze pro použití uvnitř budovy,
- 5250 – 5350 MHz – určeno pouze pro použití uvnitř budovy,
- 5470 – 5725 MHz – bez lokačního omezení [8, 9, 10].

## 2.7 Pásmo pro UAV

V předchozím textu jsme zmínili množství pásem, které se teoreticky mohou používat pro potřeby UAV. Užití těchto pásem pro dálkové řízení letounu a přenos telemetrických dat tedy nejsou nijak legislativně omezena. Volné pásmo je takové, které není zákonem zakázáno. Můžeme zde říci, co není zakázáno, je povoleno. Pokud používáme homologovaná zařízení, znamená to, že se musíme přizpůsobit frekvencím, na kterých tato zařízení pracují, za podmínky souladu frekvence s českou legislativou.

- Soupravy pro letecké modely běžně pracující na frekvencích 27MHz, 35MHz, 40MHz a 2,4GHz.
- Použití pro přenos dat mezi letounem a pozemní stanicí - je výhodné zvolit zařízení, které je schopno pracovat v pásmu pro širokopásmový přenos, jako jsou pásma 2,4 GHz, 5 GHz nebo 5,8 GHz.
- Při vysílání telemetrických dat přijímače pracují ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz, umožňují kromě přijímání signálu také obousměrnou komunikaci s vysílačem.
- Pro přenos videosignálu všeobecné oprávnění č. VO-R/10/04.2012-7 říká, že můžeme přenášet obrazové informace pouze na kmitočtech, které jsou nad 2400

MHz, tudíž jsou pro nás použitelná pásma 2,4 GHz, 5 GHz a 5,8 GHz. Vysílače obrazových dat pro letecké modely jsou běžně dostupné a pracují ve frekvenčních pásmech 2,4 GHz a 5,8 GHz [8].

### 3 UAV Stalker - OK-VSB-002

Bezpilotní letadlo Stalker bylo tématem bakalářské práce studentů Jana Bojka, Aleše Stuchlíka, Tomáše Zavackého a Kristýny Lešenárové. Jedná se o bezpilotní prostředek určený pro měření kvality ovzduší v přízemní vrstvě atmosféry. Hlavním cílem tohoto letounu je měření veličin meteorologických, a to hlavně vlhkosti, teploty, oxidu uhelnatého a polétavých částic PM10. Veličiny jsou měřeny ve vertikální i horizontální rovině.

#### 3.1 Technické parametry

Konstrukce tohoto letounu byla realizována pomocí balzy, duralu a topolových překližek. Tyto materiály disponují malou hmotností a velkou odolností vůči silám, které na letoun při letu působí. Pohonnou jednotku tvoří metylalkoholový motor, který je nainstalován do letounu jako tlačná koncepce. Řiditelná podvozková noha umožňuje dobrou ovladatelnost na zemi [11].

<b>Typ</b>	Dvoutrupý
<b>Podvozek</b>	Přídový
<b>Rozpětí křídel</b>	3,00 m
<b>Plocha křídel</b>	1,14 m <sup>2</sup>
<b>Výška</b>	0,62 m
<b>Délka</b>	1,80 m
<b>Prázdná hmotnost</b>	5,2 kg
<b>Maximální vzletová hmotnost</b>	8,0 kg
<b>Motor</b>	Metylalkoholový
<b>Objem</b>	14,95 ccm
<b>Válce/ventily</b>	1
<b>Výkon</b>	2,1 kw
<b>Rozsah otáček</b>	2 000 - 15 000 ot/min
<b>Spotřeba</b>	900 ml/hod
<b>Vrtule</b>	Dvoulistá tlačná
<b>Maximální rychlost</b>	100 km/h
<b>Pádová rychlost</b>	20 km/h
<b>Vzletová rychlost</b>	35 km/h

Tabulka 2– Technické a konstrukční parametry [11]



*Obrázek 1– Bezpilotní letoun Stalker [12]*

### **3.2 Technologie řízení bezpilotního letounu**

Hlavní podmínkou pro řízení bezpilotního letounu je ovládat výchylku jeho servomotoru tak, aby se zajistila dostatečná stabilita a říditelnost kolem všech tří os.

Tento systém pracuje na synchronizaci povelových a řídicích signálů, které jsou z manuálního řídicího členu nebo z autonomního řídicího členu tzv. vzdáleného řízení. Aby systém správně fungoval, je nutné použít snímače veličin, které monitorují let. Jedná se o snímače snímající pohyb letounu k okolnímu prostředí. Tím je docíleno, že dochází ke zpětnovazební korekci systému, kterou vyhodnocuje řídicí systém, čímž řídí výchylku servomotorů pomocí signálů s menší, či větší střídou [11].

### **3.3 Pozemní řízení**

Řízení je realizováno pomocí vysílací soustavy, která umožňuje oboustrannou komunikaci mezi zemí a přijímačem. Pro tento účel byl zvolen vysílač Spektrum DX8, který pracuje na frekvenci 2,4 GHz, díky kterému nebude docházet k rušení signálu od jiných vysílacích souprav, které pracují na stejné frekvenci [11].

### **3.3.1 Vysílací souprava**

Uspořádání ovládacích prvků bylo zvoleno intuitivně tak, aby vyhovovalo i méně zkušeným pilotům. Byla provedena změna ovládacího prvku řídicí otáčky motoru přenesením z levé strany na pravou na žádost zalétávajícího pilota. Tato změna se prováděla mechanicky, záměnou tzv. brzdy [11].

## **3.4 Technologie pro přenos dat**

Frekvence využívané na bezpilotním prostředku Stalker byly rozděleny do tří skupin.

**Řízení – 2,4 GHz**

**Meteorologická data a video – 5,8 GHz**

**Telemetrie systému autopilota – 433 MHz**

### **3.4.1 Telemetrie systému autopilota**

Využívané pásmo pro přenos povelů pro systém autopilota a telemetrických údajů bylo zvoleno **433 MHz**. Toto pásmo vyhrazuje ČTU pro „nespecifikované stanice sloužící zejména pro telemetrii, dálkové ovládání, signalizaci a přenos poplachových informací“.

Data, která budou přenášena, jsou jednoduché formy jako informace o poloze letounu, výšce, kurzu, rychlosti a další informace z autopilota. Tato data musí být přenášena na velkou vzdálenost, proto byla zvolena nižší frekvence 433 MHz z důvodu dobrého prostorového šíření.

Omezení vysílacího výkonu na tomto pásmu, které je na 10mW dle ČTU, se jeví jako velkou nevýhodou [12].

### **3.4.2 Meteorologická data a video**

V důsledku velkého objemu dat jako jsou data z videa a meteorologická data, bylo zvoleno pásmo 5,8 GHz, které zabezpečuje dostatečnou frekvenci nosného signálu pro přenos velkého objemu dat a splňuje nařízení ČTU.

Celý tento přenos se dělí na dvě části. Jedná se o část palubní a část pozemní [12].

#### 3.4.2.1 Palubní část

Mezi palubní část patří systémy, které měří veličiny jako jsou teplota, vlhkost, PM10 a oxid uhelnatý. Tyto veličiny jsou zpracovány v řídicí desce. Dále se zde nachází modul, který kontroluje stav hlavního akumulátoru a zpracovává další informace týkající se letounu. Nachází se tu i kamera, sloužící pro přenos obrazu z letounu, která je obohacena o On screen display, což je modul, který přidává do obrazu videa důležité údaje. Veškerá tato data jsou následně vysílána pomocí vysílače na frekvenci 5,8 GHz [12].

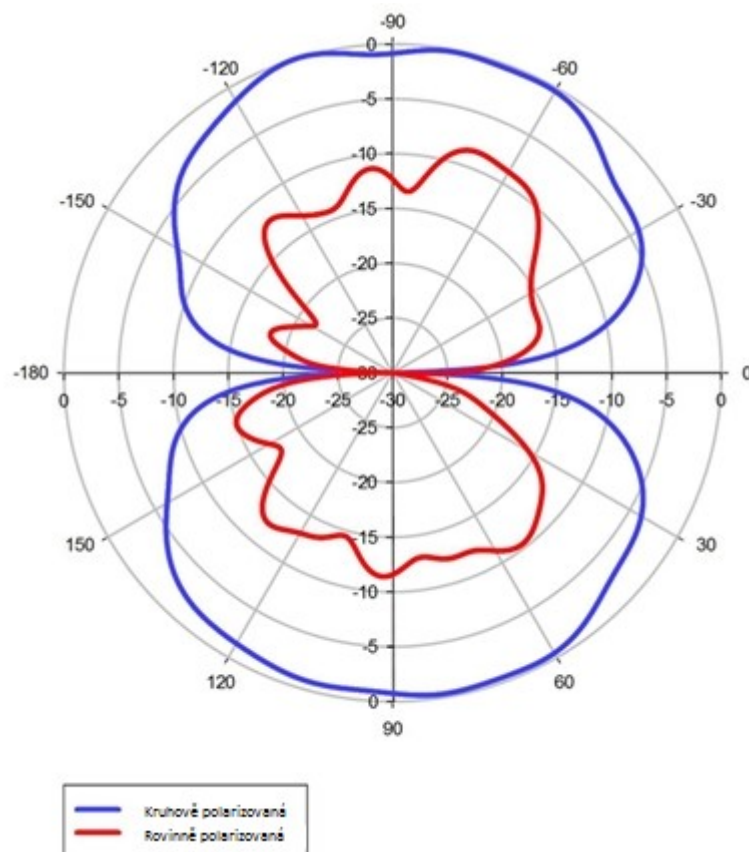
#### 3.4.2.2 Pozemní část

Signál vyslaný z palubní části letounu je zachycen na pozemním přijímači, kde je rozdělen na větev převádějící signál analogový na digitální pro zobrazení videa a na větev obsahující naměřené veličiny teploty, oxidu uhelnatého, vlhkosti a PM10, které jsou přivedeny do řídicí desky, kde jsou zpracovány [12].

### 3.5 Použité antény

Při volbě tohoto pásma následně vznikl problém týkající se dosahu přenosu. Při použití všesměrových antén a vysílacím výkonu omezeném na 25 mW se dosah v otevřeném prostoru následně pohyboval pouze v rozmezí 100-200 metrů. Problém se následně vyřešil pomocí užití nové technologie antén viz. Obrázek č. 2.

Jedná se o technologii **Circular Wireless**, která je vyvinuta pro přenos obrazových dat z létajících prostředků. Pracuje na principu kruhově polarizovaných směrových a všesměrových antén. Co se týče jejich přesnosti směřování, jsou tyto antény velice tolerantní. Dosah těchto všesměrových vysílacích antén se pohybuje okolo 1,5 km, přijímací směrové antény mají dosah okolo 5 km [12].



Obrázek 2– Porovnání kruhově polarizované antény s běžnou anténou [24]

Díky použití těchto antén se dosáhlo kvalitnějšího přenosu a také se razantně zvýšil dosah signálu.

### 3.6 Přenosová souprava

Po zvolení všech uvedených technologií, které byly zavedeny do letounu, se musela dovybavit také pozemní stanice sloužící pro příjem a zpracování dat. Použitá pozemní stanice se nikterak neliší od stanice zobrazené na obrázku č. 3





*Obrázek 3– Směrová anténa Circular Wireless [25]*

### **3.7 Přizpůsobení letounu Stalker**

Při zavedení všech nových technologií bylo nutné provést patřičné úpravy na letounu. Antény se proto umístily na spodní část trupu, jelikož je tato pozice nejvýhodnější pro směřování k pozemní stanici.

Nejrazantnější úpravy proběhly u způsobu přenosu meteorologických dat, kde byl přenos na frekvenci 5,8 GHz určen především pro přenos zvukových a obrazových informací. Systém je tvořen třemi navzájem od sebe oddělenými přenosovými kanály, které jsou analogový přenos video obrazu, pravá a levá složka zvuku.

Beze změny zůstal pouze kanál určený pro přenos videa, zatímco oba zvukové kanály se využily pro přenos dat. Jsou stavěny na frekvenční i amplitudovou modulaci, která je v rozmezí slyšitelného spektra 20 Hz – 20 kHz a pracuje s napětíovou informací, jež se pohybuje v rozmezí  $\pm 2V$ . Tento princip byl využit při tvorbě protokolu sloužícího pro přenos meteorologických dat. Pro informace z jednotlivých čidel byla použita pulzně-široková modulace obdélníkového průběhu. Šířka střidy určující jednotlivá data naměřená z čidel je v rozmezí 0-100%.

Pro přenos se zvolila modulační frekvence o velikosti 10kHz, která zajistí dostatečné množství dat i při možných drobných přenosových výpadcích. Tento přenosový protokol

je nastaven jak v řídící desce na letounu, tak na řídící desce, kterou obsahuje pozemní stanice, která bude následně provádět demodulaci a zobrazovat informaci na počítači [12].

## 4 UAV motorový kluzák a vzducholod'

V následujících kapitolách 4.1 a 4.2 popíšeme UAV prostředky – motorový kluzák a vzducholod'.

### 4.1 Motorový kluzák

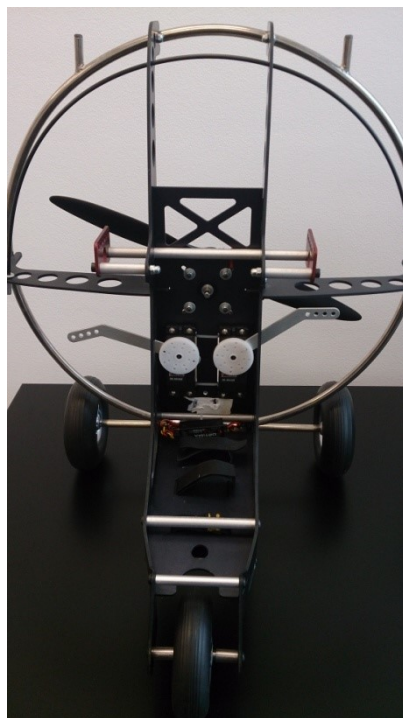
Jedná se o bezpilotní prostředek, který je určen pro měření kvality ovzduší v přízemní vrstvě atmosféry. Na tomto projektu s námi dále spolupracuje Lukáš Vachata. Hlavním účelem je měření meteorologických veličin, a to především teploty, vlhkosti, oxidu uhelnatého a polétavých částic PM10. Tyto zmíněné veličiny jsou měřeny v horizontální i vertikální rovině.

#### 4.1.1 Technické parametry

Konstrukce tříkolky je prototyp navržený a vyrobený firmou Sky Paragliders ve spolupráci s Valach motors, parametry jsou uvedeny v následující tabulce. Celá konstrukce je vyrobena z lehké slitiny. Jednotlivé díly byly vyřezány pomocí laserového CNC stroje. Konstrukce trojkolky je zobrazena v obrázku č. 4.

Délka	470 mm
Šířka	105 mm
Hloubka	370 mm
Výška	475 mm
Čistá hmotnost trojkolky	3400 g

*Tabulka 3– Technické parametry konstrukce tříkolky. Zdroj: vlastní*



Obrázek 4– Konstrukce tříkolky. Zdroj: vlastní

Celá tříkolka je zavěšena na padáku, který byl speciálně vyroben na míru firmou Sky Paragliders. Jako materiál pro výrobu padáku byl použit skytex. Vyvážání obsahuje hlavní a řídicí šňůry a větvení „galerie“. Řídicí šňůry jsou následně upevněny k servomotorům. Jednotlivé řady šňůr označujeme písmeny A, B, C a D. Technické údaje jsou uvedeny v tabulce č. 4 [13].

Délka	3162mm
Hloubka	798mm
Plocha	2m <sup>2</sup>
Šňůry	A, B, C, D
Zatížení	2-2,5 kg

Tabulka 4– Parametry padáku. Zdroj: Společnost Sky Paragliders

K napájení elektroniky uložené v trojkolce jsou používány Li-Po baterie. Výdrž jedné baterie při síle větru 0-2 m/s se pohybuje okolo 8 minut, při silnějším větru

se výdrž snižuje na hodnotu 5-6 minut. Při záletech se testovaly baterie s větší kapacitou s očekáváním delší výdrže, bohužel čím větší kapacita baterie, tím je její hmotnost větší, tudíž se musí letět na větší výkon a výdrž se nezvyšuje. Proto využíváme osvědčenou baterii Gravity Li-Po o kapacitě 4000 mAh.

Baterie	Li-Po
Napětí	11,1V
Kapacita	4000mAh
Počet článků	3
Hmotnost	347g

*Tabulka 5– Parametry baterie. Zdroj: vlastní*

Hnací jednotkou je elektromotor Dualsky XM4255EA-4.5. Jeho podrobnější specifikace je uvedena v následující tabulce č. 6.

rpm/V	790
Rozměr	42x49mm
Proud na prázdnou @10V	4,66A
Trvalý výkon	621W
Odpor	12mΩ
Hmotnost	252g

*Tabulka 6– Parametry elektromotoru [14]*

K pohonu celého letounu se využívá dřevěná vrtule, která je dělaná na zakázku od firmy Fiala Propellers. Vrtule je velmi lehká a díky svému materiálu však lehce náchylná k poškození. Jednu vrtuli se podařilo zničit při přistání, kdy se na ni namotaly šňůry padáku a kus vyštíply.

Materiál	dřevo
Délka	370mm
Rozměry	15x6 mm

Tabulka 7– Vrtule. Zdroj: vlastní

Pro ovládání využíváme Hitec Optic 6 Sport, což je šestikanálový vysílač, který pracuje v bezpečném pásmu 2,4 GHz. Lze si na míru nastavit výchylky serv (exponenciály, velikost, smysl, dvojí výchylky, subtrim). Na ovladači se upravilo ovládání výkonu motoru, kdy se prohodilo z pravé strany na levou s ovládáním servomotorů [15].



Obrázek 5– Ovladač pro paraglide. Zdroj: vlastní

#### 4.1.2 Předletové úkony

Nejdůležitějším prvkem, na který musí být brán největší zřetel, je bezpečnost. Z tohoto důvodu musíme před každým plánovaným letem pečlivě zkontrolovat bezpilotní prostředek a díly užívané k jeho provozu. Kontrola se provádí pro dvě skupiny, a to pro odnímatelné a neodnímatelné díly.

## Odnímatelné díly

Jsou to díly, které se před každým plánovaným letem instalují do bezpilotního prostředku a po následném ukončení letu se zpátky demontují.

- *Baterie* - Baterie používané do tohoto prostředku jsou Li-Pol. U baterie je velmi důležité před letem zkontrolovat, zda není mechanicky poškozená či nafouklá a zda je plně nabitá (tj. měla by indikovat napětí 12,5V). Po zkontrolování se musí pečlivě usadit do spodní části konstrukce pomocí pásků ze suchého zipu, aby nedošlo k poškození či vypadnutí baterie za letu.
- *Vrtule* - Používaná vrtule je značky Fiala Propellers vyrobena ze dřeva. Vrtule by neměla prokazovat žádné vnější poškození, proto kontrolujeme vizuálně i hmatově. Poškození by při letu mohlo způsobit nedostatečný tah a v krajním případě by mohlo dojít k nekontrolovanému pádu. Vrtuli usadíme na hřídel motoru a zajistíme podložkou a maticí, kterou dostatečně dotáhneme.
- *Ovladač* - U ovladače je důležité zkontrolovat, zda je dostatečně nabitý, aby nedošlo za letu ke ztrátě ovladatelnosti letounu. Po připojení baterie k letounu zapneme vysílač a provedeme zkoušku levého a pravého serva, zda vykonávají pohyb nahoru a dolů.

## Neodnímatelné díly

Do této části spadá samotná konstrukce letounu a padák. Zde je velmi důležité před provedením letu vizuálně i hmatově zkontrolovat tyto prvky.

- *Konstrukce tříkolky* - Zaměříme se na kontrolu všech tří kol, zda nejsou uvolněná či poškozená, abychom se již při startu vyvarovali možné havárii. Dále je nutná vizuální kontrola celkového stavu konstrukce trojkolky.
- *Padák* - Padák považujeme za neodnímatelný díl z toho důvodu, že jej necháváme permanentně upevněný ke konstrukci a servomotorům. Zkontrolujeme, zda není protržený či jinak mechanicky poškozený povrch. Dále se zaměříme na kontrolu šňůr, které vyzvoníme v pořadí od šňůry A, B, C a jako poslední D, tím zajistíme, že šňůry nebudou nikterak zamotané a při vzletu budou plně napnuté. Jako poslední zkontrolujeme uchycení celého padáku ke konstrukci trojkolky, konkrétně karabinu.

### **4.1.3 Letové fáze**

Po splnění všech předletových kontrol přecházíme k zahájení letu.

#### **Vzlet**

Vzlet provádíme vždy proti větru, tříkolku máme zajištěnou proti couvání. Tento úkon je lepší provádět za asistence druhé osoby, která pomůže s nahozením padáku při rozjezdu. Sílu tahu motoru volíme tak, aby byla dostačující pro rozjezd tříkolky a k dostatečnému nalití padáku. Poté se tah zvýší, aby došlo k odlepení od země. Délka startu se liší dle síly větru. Pokud startujeme za bezvětří, délka startu se pohybuje v rozmezí mezi 8-11 metry. S narůstajícím větrem se délka startu snižuje a vzlet může být proveden i pod hranicí 3 metrů. Po odpoutání od země přidáme více otáček motoru, abychom vystoupali do vhodné, bezpečné výšky.

#### **Cestovní let**

V momentě, kdy nastoupáme do vhodné výšky, snížíme tah motoru, abychom tak udržovali výšku a dosáhli ekonomického letu. Zatačku provádíme jemným vychýlením páčky do strany, na kterou chceme, aby byla provedena zatačka. Při velkém vychýlení řídicí páčky dojde ke ztrátě výšky a přechodu do vývrtky.

#### **Přistání**

Přistání provádíme zásadně proti větru, kdy nalétneme nad přistávací plochu. Postupně snižujeme tah motoru a letoun začíná pomalu klesat, zároveň provádíme případné korekce směru. Při dosednutí na zem musím ihned snížit tah na nulu, abychom předešli navinutí šňůr vrtulí.

## **4.2 UAV vzducholod'**

Jedná se o další bezpilotní prostředek řízený vysílací soupravou Futaba T7C, sloužící pro měření kvality ovzduší v přízemní vrstvě atmosféry. Hlavním účelem je měření meteorologických veličin, a to především teploty, vlhkosti, oxidu uhelnatého a polétavých částic PM10. Tyto zmíněné veličiny jsou měřeny jak v horizontální, tak i ve vertikální rovině.





Obrázek 6– Vzducholod' ACC06M. Zdroj: vlastní

#### 4.2.1 Technické parametry

Vzducholod' ACC06M je tvořena dvěma pláští. Vnitřní se nazývá balonet, což je vak, do kterého je tlakově vpouštěn nosný plyn. Používá se hélium, které je skladováno ve dvou tlakových bombách. Tento vak při přetlakování zajišťuje tvar trupu, jelikož se jedná o vzducholod' bez pevných vnitřních výztuh. Vnější plášť je vyroben z látky, která se nazývá skytex. Tato látka je lehká, velmi pevná a odolná vůči vnějším podmínkám, slouží jako ochrana balonetu.

Technické parametry vzducholodě ACC06M uvádí následující tabulka:

Délka trupu	6m
Maximální průměr trupu	1,8m
Objem trupu při doporučeném přetlaku	9,1 m <sup>3</sup>
Doporučený přetlak uvnitř trupu	200Pa
Maximální dovolený přetlak uvnitř trupu	400Pa
Hmotnost konstrukce	7,5Kg

Doporučená vzletová hmotnost	0,5Kg
Teplotní provozní rozsah	0-30°C
Vlhkostní (relativní) provozní rozsah	0-95%
Maximální hmotnost nákladu vč. Baterií při 0°C	2,6Kg
Maximální hmotnost nákladu vč. Baterií při 30°C	1,6Kg

*Tabulka 8– Technické parametry vzducholodi ACC06M. Zdroj: předávací protokol*

V zadní části trupu vzducholodě se nachází 3 ocasní plochy, které jsou vybaveny klapkami, díky nimž můžeme měnit směr letu. Pomocí těchto stabilizačních ploch jsme schopni provádět zatáčení, klopení a klonění vzducholodě. Je zde jedna svislá ocasní plocha, ve které se nachází dva elektromotory pro směrové zatáčení, a dvě vodorovné ocasní plochy.

Jako pohon slouží dva elektromotory připevněné ve spodní části, které jsou schopny se natáčet kolem své osy a tím měnit směr tahu vzducholodi jako na dopředný tah, zpětný tah, stoupání, klesání.

Celá elektronika uložená ve vzducholodi je napájena pomocí v sérii zapojených Li-Po baterií, každá o kapacitě 8000mAh a váze 609g. Baterie také slouží jako užitečná zátěž při vyvažování vzducholodě.

Vzducholod' je řízena manuálně pomocí pozemního vysílače typu Futaba T7C, který pracuje v pásmu 2,4GHz. Tento vysílač disponuje mnoha volitelnými módy řízení, které jsou právě zde vítány [16].



Obrázek 7– Ovladač vzducholodi Futaba T7C. Zdroj: vlastní

## 4.2.2 Předletové úkony

Po řádném vybalení nosných ploch a vzducholodě z pouzdra je důležité zkontrolovat, zda nedošlo k mechanickému porušení. Poté vzducholod' ukotvíme k pozemnímu stojanu a začneme s přetlakováním hélíem do poloviny objemu, abychom mohli pomocí zipu ukotvit nosné plochy a pohonnou jednotku k plášti. Po řádném zapojení všech částí přetlakuje do provozních hodnot tj. minimálně 200Pa. Zapojíme baterie a pomocí vysílače otestujeme, zda správně fungují klapky a motory.

## 4.2.3 Letové fáze

Po řádném zapojení a připravení vzducholodě přecházíme k letu. Let by měl být prováděn za větru o síle nanejvýš 3-5 m/s.

### Vzlet

Při manipulaci vzducholodě ve vzletové fázi by měla pomáhat z bezpečnostních důvodů nejlépe jedna zaškolená osoba, aby se při náhlém poryvu větru předešlo poškození techniky. Pilot nastaví páčkou na vysílači motory do polohy nelépe kolmého startu a zvyšuje otáčky motoru, aby nastoupal do bezpečné výšky.

## **Cestovní let**

Ve chvíli dosažení vhodné výšky snížíme tah motoru a výšku a směr korigujeme dle povětrnostních podmínek pomocí motorů a kormidel. Zatačku provádíme jemným vychýlením páčky do požadované strany. Pilot by měl být zkušený, jelikož ovládání 6m velké vzducholodi je velmi obtížné obzvláště v momentech, kdy se do takovéto velké plochy opře vítr.

## **Přistání**

Přistávací manévr je velmi složitý a náročný úkon pro pilota. Přechází se z cestovního letu do klesání způsobem snížení otáček motoru na minimum a nechá se samovolně sklesat za předpokladu, že je bezvětrí. Dále může sklesat pomocí natočení vrtulí a klesat pod tahem motoru nejlépe proti větru. Jakmile se vzducholod' nachází několik metrů nad zemí, pilot postupně snižuje otáčky motoru a za pomoci zaškolené osoby se vzducholod' zachytí.

## 5 Návrh komunikačních zařízení

Úkolem bylo duplikovat komunikační zařízení z letounu Stalker. Bohužel toto zařízení nepracovalo správně a efektivně již za doby jeho vzniku a docházelo ke ztrátě velkého objemu dat při dálkovém přenosu. Toto vše nebylo zapříčiněno velkým přenosem objemu dat, ale díky špatně zvolenému rádiovému systému. Nelze přenášet data na kanálu s krátkým dosahem (tj. výkonové pásmo 10mW, které bylo použito).

Aby systém pracoval spolehlivě, musí být použit jiný rádiový kanál - nejlépe velmi krátké vlny nebo ultra krátké vlny, a to v dolním spektru. Při ubírání se tímto směrem by se data neposílala každou vteřinu, ale musela by se naprogramovat mezipaměť, která by nashromáždila naměřená data za určitý časový úsek a vyslala je na zem jako celek. Pozemní stanice musí být stejně upravena jako stanice v letounu. Tento proces realizace je však náročný.

Z těchto uvedených důvodů a díky omezenému prostoru a velikosti užitečné zátěže motorového kluzáku nebyla možná realizace dálkového datového přenosu a muselo se přistoupit pouze k zápisu meteorologických dat na microSD kartu.

Dnes existují lepší varianty, než jsou na Stalkerovi, kterými se lze do budoucna ubírat. Jedná se to pomocí **ISM** v pásmu 433Mhz nebo 868MHz. V tomto způsobu se jedná o volná pásma, která jsou přístupna všem a jejich provoz je bez poplatků, tudíž by mohlo docházet k rušení signálu. Další možností je využití **GSM**, kde výměna dat probíhá přes internet. Tento způsob je ovšem placený, nemůže dojít k rušení signálu jinými zařízeními, což by bylo přívětivější.

### 5.1 Metrologické systémy užití v UAV MPG a UAV vzducholodi

Na motorovém paraglidu a vzducholodi jsou umístěny metrologické snímače, které mají za úkol měřit meteorologické veličiny, a to především množství znečišťujících látek obsažených v ovzduší.

Naměřené hodnoty ze snímačů jsou zapisovány v reálném čase na microSD kartu, která je vložena do Arduino desky, kde data slouží pro následné vyhodnocení.

Měřeny jsou následující veličiny:

- částice PM10

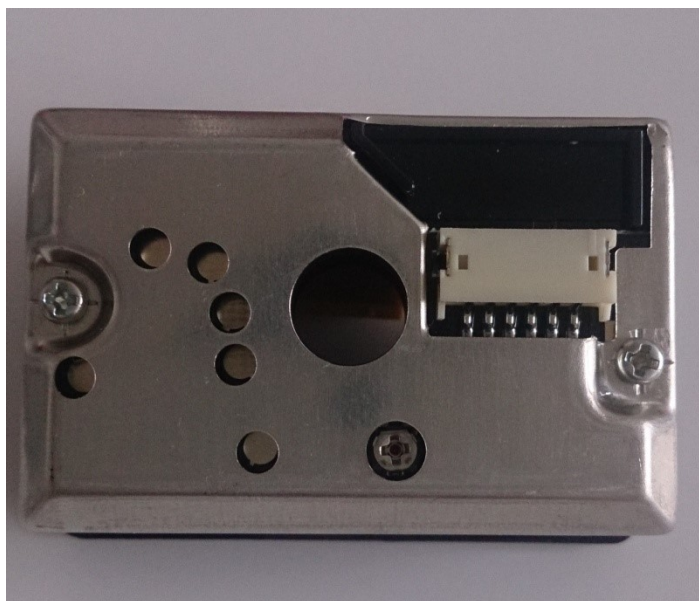
- teplota
- vlhkost
- oxid uhelnatý

### Částice PM10

Označení PM10 je z anglického spojení **particulate matter**. Jde o malé poléťavé částice menší než 10 $\mu$ m, skládající se z různých látek jako například: organické látky, uhlík, amonné soli, sírany, dusičnany a některé kovy. Částice vznikají přirozeně v přírodě, dnes především i lidskou činností. Tyto částice jsou velmi nebezpečné, jelikož pronikají do dolních cest dýchacích, což vede k rozvoji vážných onemocnění cest dýchacích.

Není stanoven obecný emisní limit pro částice PM10 [17].

Námi používaný snímač funguje na principu, kdy otvorem snímače proudí nenarušený vzduch, který chceme měřit. Tento proud vzduchu snímají infračervené diody, které neustále počítají částice [18].



*Obrázek 8– Snímač prachových částic. Zdroj: vlastní*

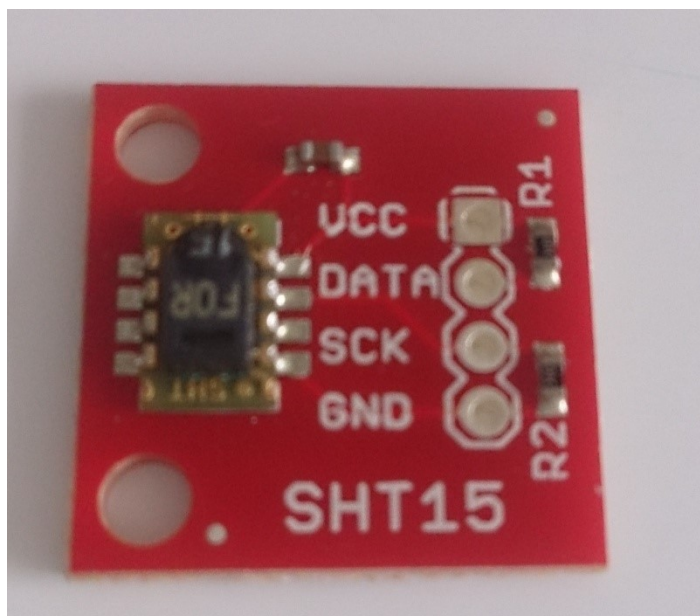
### Teplota

Teplota se dá měřit různými způsoby, ovšem mezi nejpoužívanější teploměry v dnešní době patří teploměry pracující na principu roztažnosti látek, nejčastěji kapalin jako rtuť



nebo líh. Pro měření teploty se dále využívají další typy teploměrů například tlakové, tyčové, bimetalické, elektrické nebo odporové snímače teploty.

Námi využitý teploměr je odporový snímač teploty, pracující na principu teplotní závislosti elektrického odporu. Odpor snímače pro stanovení teploty se vypočítává dle Ohmova zákona. Při měřícím proudu  $I$  se měří úbytek napětí na snímači  $U_a$  odpor je dopočten [19, 20].



Obrázek 9– Snímač teploty. Zdroj: vlastní

## Vlhkost

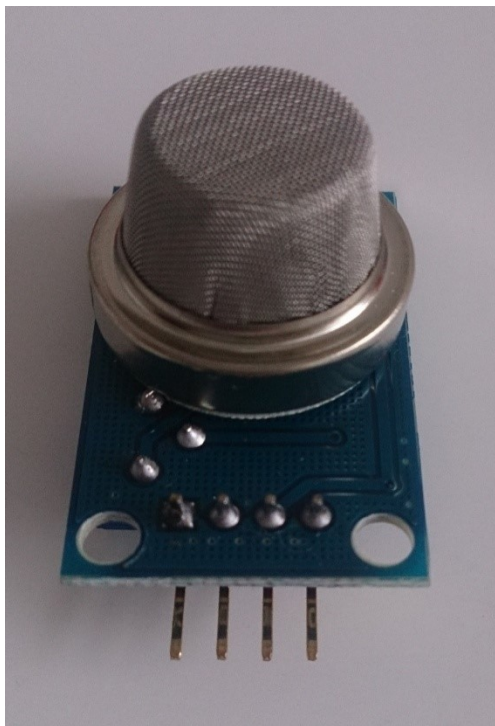
Vlhkost vzduchu dělíme na relativní a absolutní. První z nich se udává procentní nasycení suchého vzduchu vodní parou při určité teplotě. Absolutní vlhkost vyjadřuje hmotnost vodní páry v objemu vzduchu, jednotkou je  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Námi užitý snímač teploty reflektuje mimo jiné i vlhkost, která je snímána na stejném principu jako teplota díky roztažnosti látek za různé vlhkosti [20, 21].

## Oxid uhelnatý

Jedná se o bezbarvý plyn, který je bez chuti a zápachu. Tento plyn je mírně lehčí než vzduch. Vzniká při nedokonalém spalování především fosilních paliv, v přírodě pak při lesních požárech a vulkanické činnosti.

Pro člověka je tento plyn velmi nebezpečný. Oxid uhelnatý se váže na hemoglobin rychleji než kyslík a zabráňuje kyslíku vázat se na červené krvinky, tudíž dochází k nedostatečnému okysličení mozku.

Senzor, který jsme užili, pracuje na následujícím principu. Zahřívá polovodič, který se v přítomnosti oxidu uhelnatého ohřívá nepřímo úměrně proudu, který jej zahřívá. Měření se opravuje o aktuální teplotu a vlhkost okolí, ze kterého je následně určena aktuální koncentrace CO [22, 23].

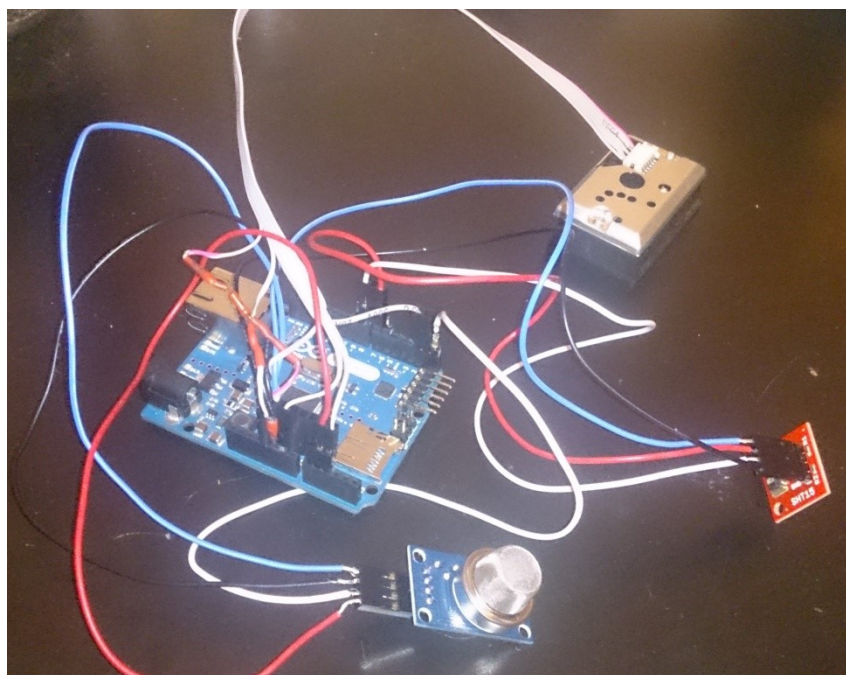


*Obrázek 10– Snímač oxidu uhelnatého. Zdroj: vlastní*

## **5.2 Sestavení**

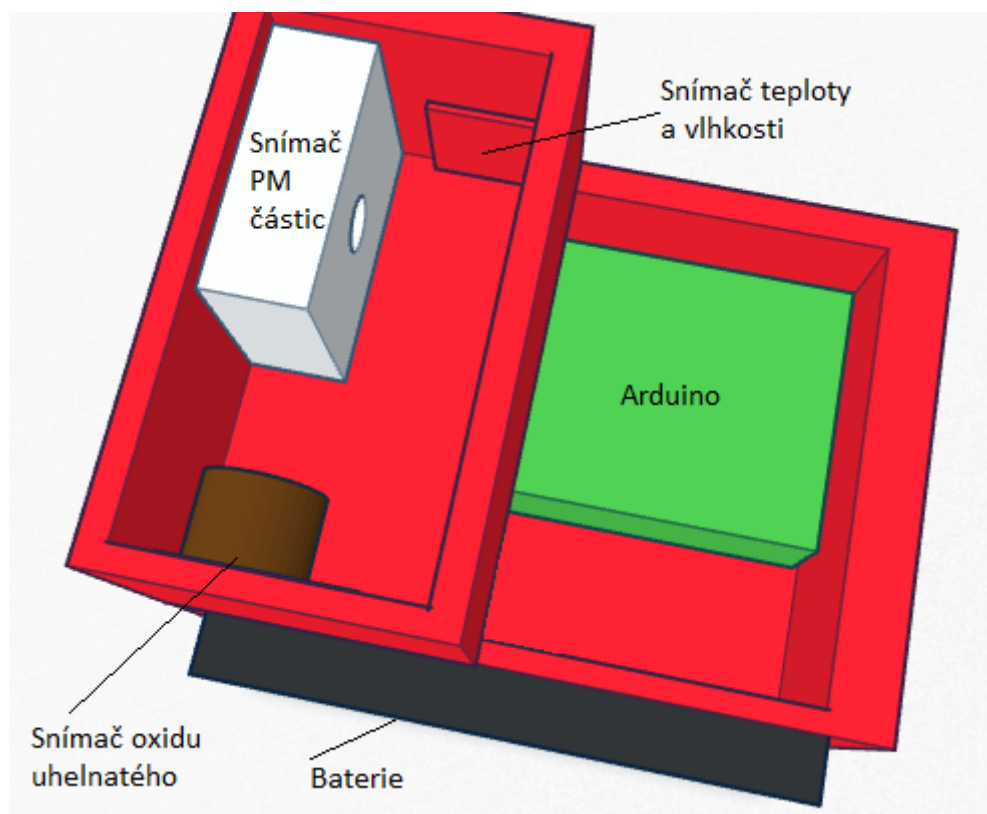
Všechny uvedené snímače se následně připájely a zapojily do přeprogramované Arduino desky, kde se veškerá naměřená data zapisují na microSD kartu. Systémy se následně kontrolovaly a testovaly kvůli správnosti zapojení a funkčnosti všech snímačů.





*Obrázek 11– Propojení snímačů s deskou Arduino. Zdroj: vlastní*

Pro celou elektroniku se udělal 3D návrh pouzdra na míru, které se lehce upevní do konstrukce motorového paraglidu a pod motorovou gondolu vzducholodě. Toto pouzdro je rozvrženo do dvou odnímatelných sekcí. V horní části se nachází čidla teploty, vlhkosti a PM částic. V dolní části je uložena Arduino deska, z vnější strany pouzdra je upevněná baterie pro napájení elektroniky.



Obrázek 12– Návrh pouzdra se snímači. Zdroj: vlastní

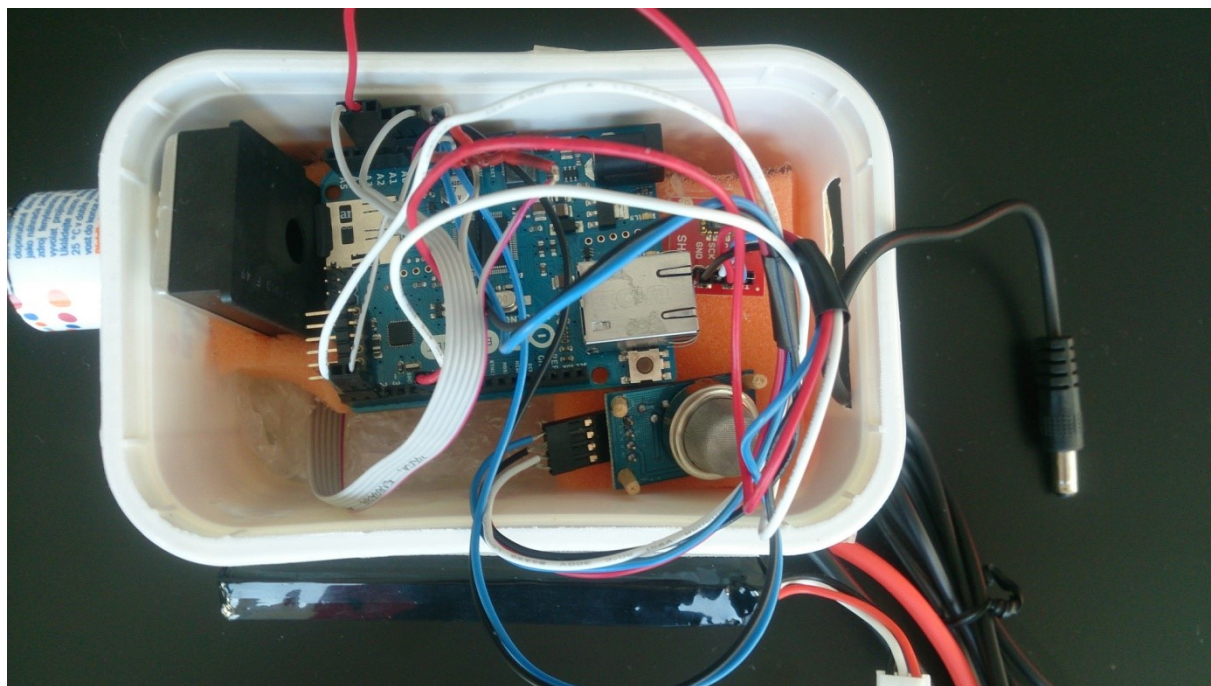
Vrchní část	
Délka	55mm
Hloubka	42mm
Šířka	98mm

Tabulka 9– Rozměry vrchní část. Zdroj: vlastní

Spodní část	
Délka	130mm
Hloubka	42mm
Šířka	98mm

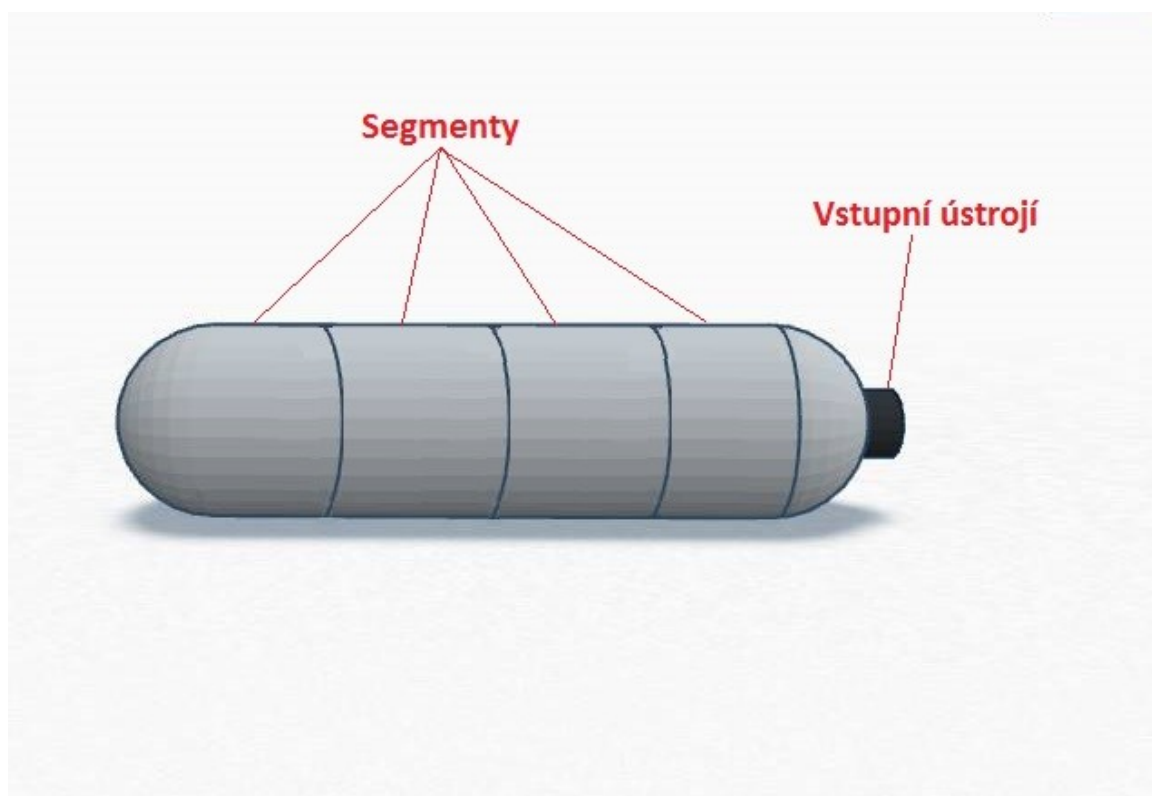
Tabulka 10– Rozměry spodní části. Zdroj: vlastní

Celý tento návrh se přeformátoval do verze pro 3D tiskárnu, kterou bychom rádi využili pro tisk tohoto pouzdra ve spolupráci s Fakultou metalurgie a materiálového inženýrství za pomoci Ing. Filipa Radkovského. Ovšem z důvodu nutnosti koupení náplní pro tisk a délce dodací lhůty bylo vyhotoveno dočasné pouzdro, do kterého se elektronika uložila.



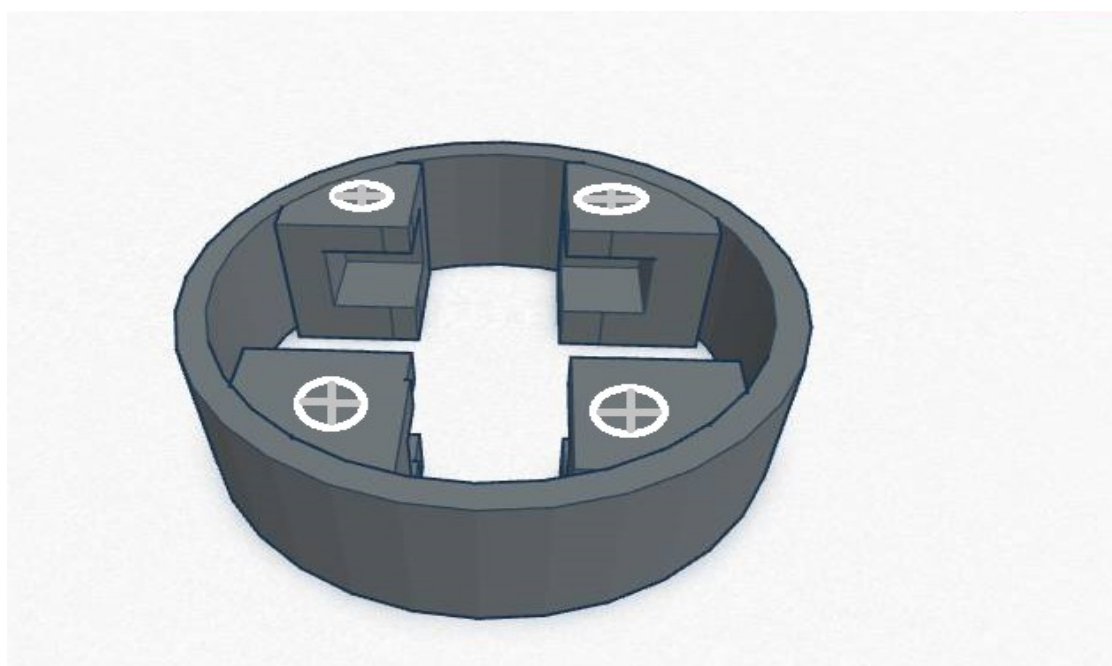
*Obrázek 13– Provizorní pouzdro. Zdroj: vlastní*

Do budoucna by se typ pouzdra mohl vyvíjet směrem sekvenčních oddílů. Pouzdro by bylo zhotoveno z několika oddílů, které by byly k sobě připevněny a byly by odnímatelné v celkovém aerodynamickém tvaru. Každý oddíl by sloužil pro uložení konkrétního dílu a byl by autonomní. To by umožňovalo uživateli využívat je podle potřeby. V následujícím obrázku je zobrazen návrh možného pouzdra, které se skládá z již zmíněných segmentů a vstupního ústrojí pro průchod nenarušeného vzduchu do prostor pouzdra.



*Obrázek 14- Návrh možného budoucího pouzdra. Zdroj: vlastní*

Jednotlivé segmenty se mohou od sebe lišit velikostí typu uloženého snímače nebo jiné elektroniky. Následující obrázek ukazuje možný návrh segmentu, který se dá připevnit k dalšímu pomocí šroubů.



*Obrázek 15– Jednotlivý segment. Zdroj: vlastní*



## 6 Provedení letů se zápisem dat

Celý systém začíná pracovat ihned po připojení baterie. Data ze snímačů jsou shromažďována v Arduino desce, která je následně zapisuje na microSD kartu ve vteřinových intervalech.



*Obrázek 16– Připravený motorový paraglide k měření. Zdroj: vlastní*

Data, ze kterých se následně vyhodnocují naměřené veličiny, jsou zapisovány do txt souboru. Tato data se posléze musí upravit a vyhodnotit MS Office Excel. Data nacházející se v prvním sloupci je naměřená koncentrace oxidu uhelnatého, druhý sloupec je teplota, třetí sloupec ukazuje vlhkost, čtvrtý sloupec koncentraci PM částic a poslední pátý sloupec zobrazuje dobu zápisu. V jakém formátu jsou data zapsána, ukazuje následující obrázek č. 17.

mg*m3 =	311.50,	°C	9.28,	%	74.77,	ppm	36.0,	sec	1
mg*m3 =	102.42,	°C	9.27,	%	74.87,	ppm	82.0,	sec	3
mg*m3 =	81.59,	°C	9.24,	%	75.00,	ppm	133.0,	sec	4
mg*m3 =	87.43,	°C	9.20,	%	75.19,	ppm	170.0,	sec	5
mg*m3 =	116.58,	°C	9.20,	%	75.42,	ppm	197.0,	sec	6
mg*m3 =	129.07,	°C	9.20,	%	75.57,	ppm	215.0,	sec	8
mg*m3 =	133.24,	°C	9.18,	%	75.75,	ppm	218.0,	sec	9
mg*m3 =	154.07,	°C	9.17,	%	75.90,	ppm	214.0,	sec	10
mg*m3 =	142.40,	°C	9.19,	%	76.05,	ppm	204.0,	sec	12
mg*m3 =	119.91,	°C	9.18,	%	76.20,	ppm	189.0,	sec	13
mg*m3 =	109.92,	°C	9.12,	%	76.31,	ppm	179.0,	sec	14
mg*m3 =	104.92,	°C	9.04,	%	76.37,	ppm	175.0,	sec	15
mg*m3 =	109.08,	°C	9.00,	%	76.51,	ppm	172.0,	sec	17
mg*m3 =	106.58,	°C	8.90,	%	76.68,	ppm	171.0,	sec	18
mg*m3 =	103.25,	°C	8.88,	%	76.81,	ppm	166.0,	sec	19
mg*m3 =	100.75,	°C	8.85,	%	76.98,	ppm	158.0,	sec	21
mg*m3 =	94.92,	°C	8.82,	%	77.12,	ppm	152.0,	sec	22
mg*m3 =	104.09,	°C	8.70,	%	77.17,	ppm	149.0,	sec	23
mg*m3 =	103.25,	°C	8.58,	%	77.23,	ppm	147.0,	sec	24
mg*m3 =	93.26,	°C	8.53,	%	77.32,	ppm	146.0,	sec	26
mg*m3 =	110.75,	°C	8.54,	%	77.47,	ppm	145.0,	sec	27
mg*m3 =	91.59,	°C	8.48,	%	77.65,	ppm	142.0,	sec	28

Obrázek 17– Zápis naměřených veličin. Zdroj: vlastní

## 6.1 1. Měření

První měření se uskutečnilo dne 15. 4. 2016 v ranních hodinách. Pro měření byla vybrána lokalita za areálem Geis CZ s.r.o. nacházející se v Ostravě Porubě. Tato lokalita nám sloužila již dříve za účelem nauky létání s motorovým kluzákem, jelikož se v této lokalitě nenachází dráty vysokého napětí či zastavěná oblast a podmínky pro provoz kluzáku jsou zde velmi příznivé.

Po splnění všech předletových úkonů se uložilo pouzdro do konstrukce tříkolky a zajistilo se. Poté se zapojilo napájení elektroniky snímačů a zahájil se měřicí let. Celý let trval 6 minut. Následující obrázek č.18 ilustruje, v jaké oblasti se měřilo.

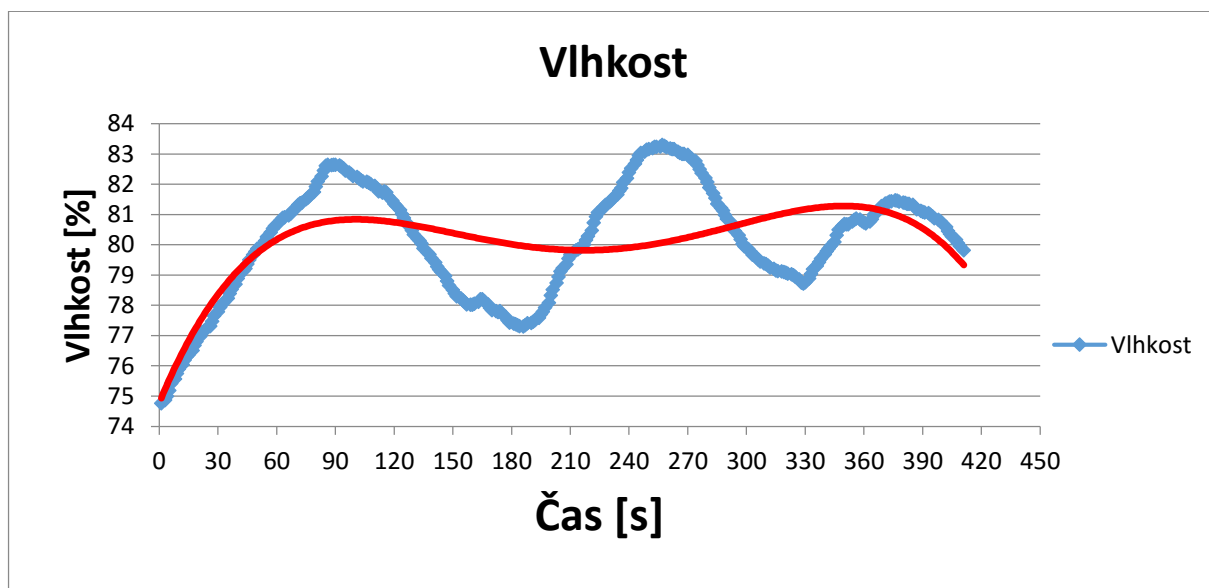


Obrázek 18– Měřená lokalita [26]



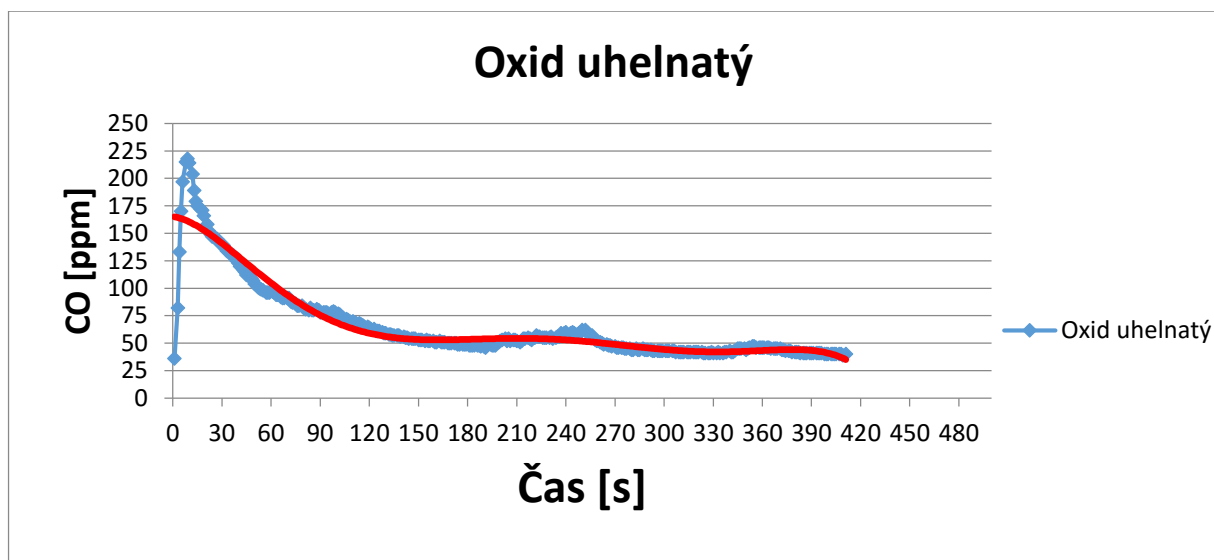


Koncentraci vodních par ve vzduchu ukazuje následující graf. Můžeme vidět, že se vlhkost pohybovala v rozmezí 75-83%, což vysvětluje měření za lehké ranní mlhy.



Graf 3– Vlhkost. Zdroj: vlastní

Poslední graf ukazuje, v jaké koncentraci se vyskytoval oxid uhelnatý na okraji Poruby v ranních hodinách.



Graf 4– Oxid uhelnatý. Zdroj: vlastní



## 6.2 2. Měření

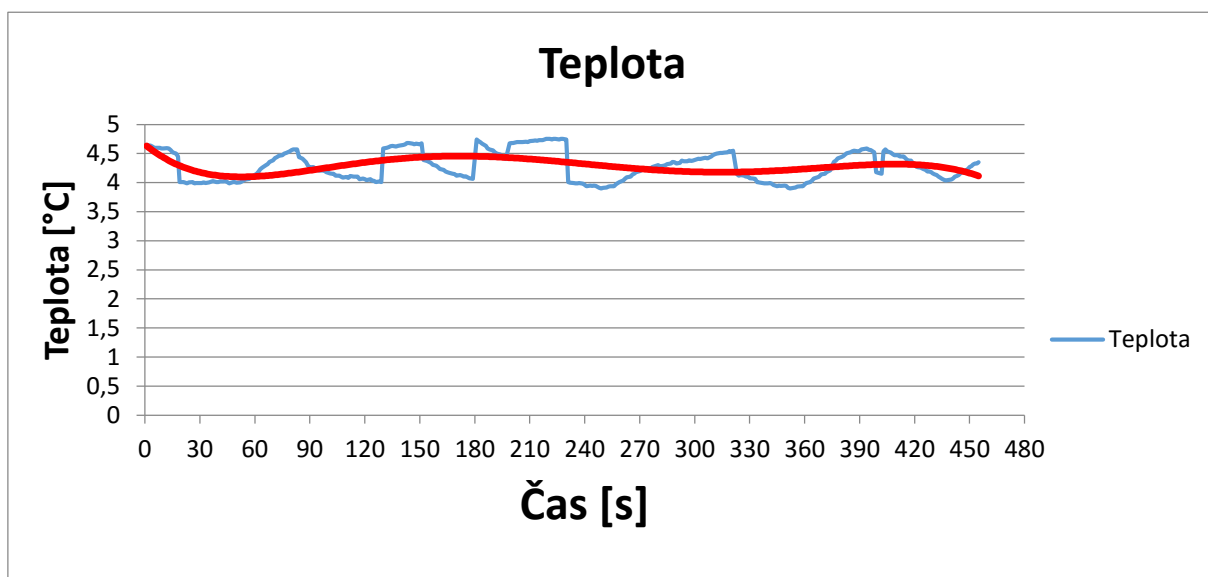
Druhé měření se uskutečnilo dne 26. 4. 2016 v 8:45. Pro měření se vybrala lokalita v okolí Planetária Ostrava. Tato lokalita disponuje velkou travnatou plochou bez přítomnosti drátů elektrického napětí a zástavby. Start byl proveden na asfaltové cestě a následné přistání na travnaté ploše. Celý let trval 7 minut. V následujícím obrázku č. 19 je zaznamenána měřená oblast.



Obrázek 19– Měřená lokalita u Planetária Ostrava [27]

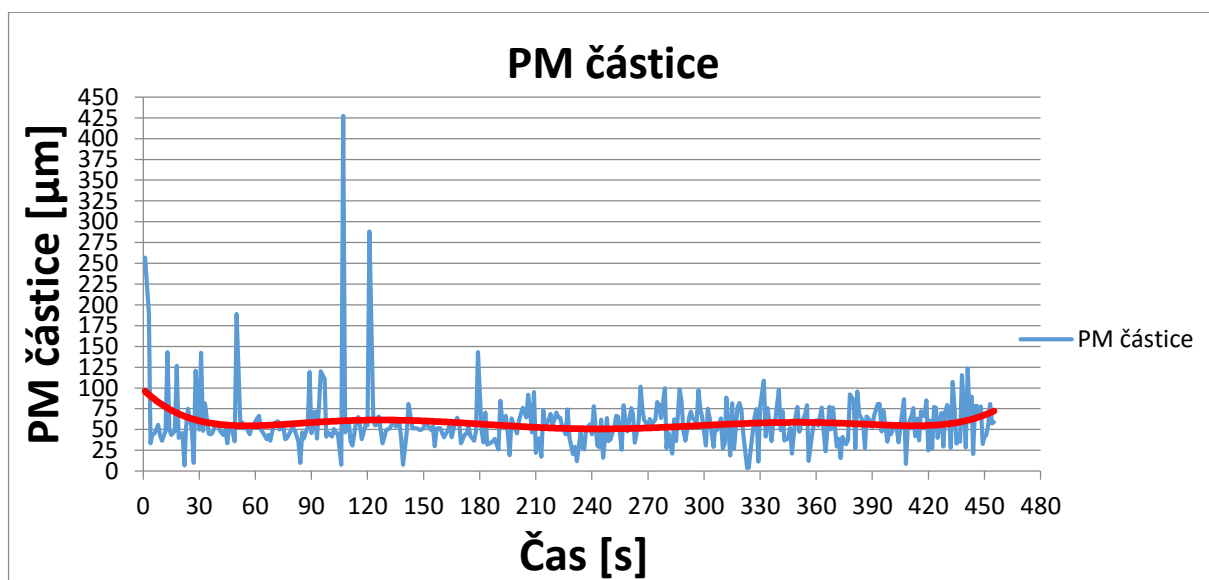
### 6.2.1 Vyhodnocení měření

Při měření teploty je vidět, že snímaná teplota kolísala v průměru okolo 0,5 °C. Tyto změny mohly být zapříčiněny chybným snímáním nebo meteorologickými podmínkami.



Graf 5– Závislost teploty na čase. Zdroj: vlastní

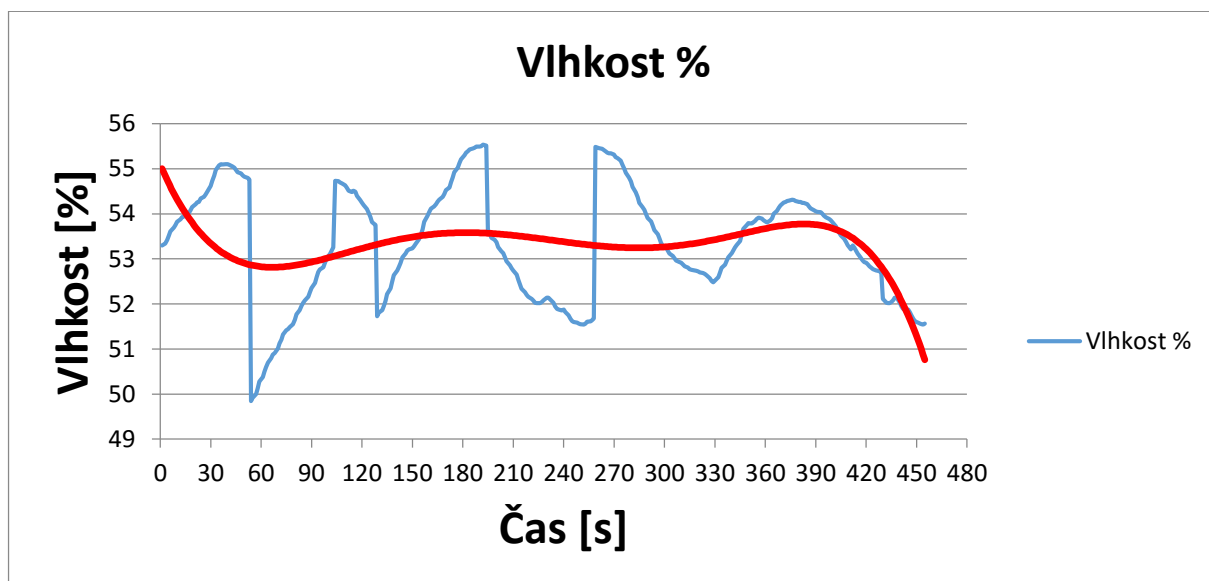
U následujícího grafu znázorňujícího polétavé částice je patrné, že došlo k velkým výkyvům, které znamenají chybu měření. Zbylá část měřených hodnot se pohybuje kolem spojnice trendu.



Graf 6– Koncentrace PM částic. Zdroj: vlastní

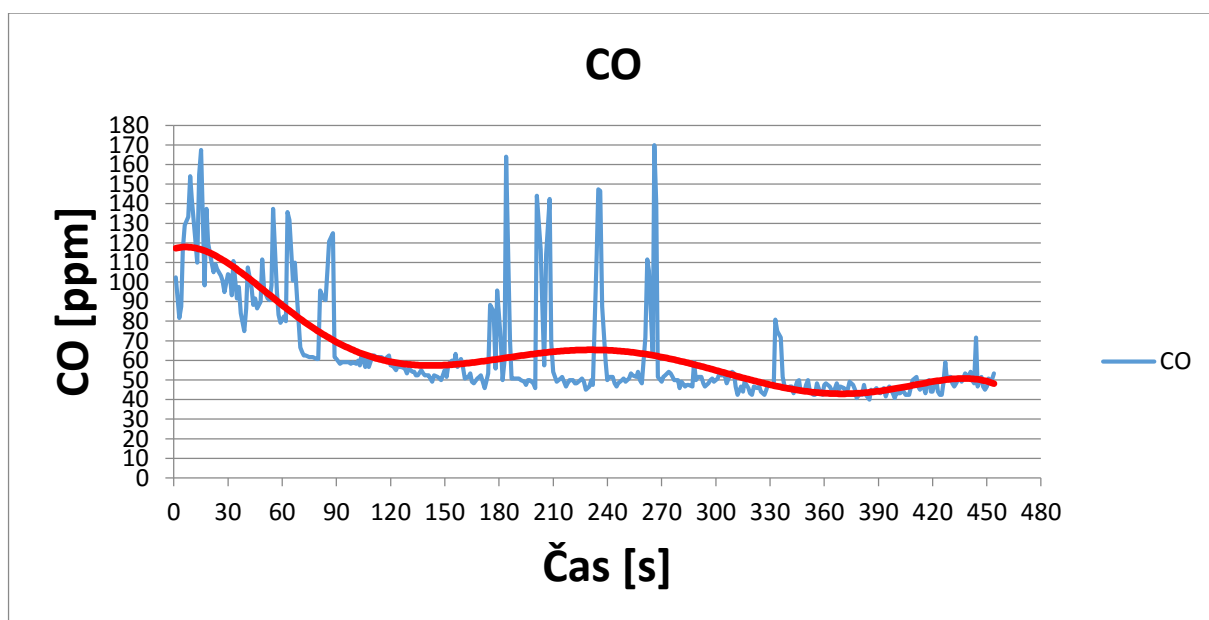
Koncentrace vodních par v ovzduší byla oproti prvnímu měření téměř o třetinu menší a pohybovala se v hodnotách mezi 49-55%. Jsou zde skokovité hodnoty, které mohly být

ovlivněny jak odpařující se rosou z travnaté plochy nebo okolním lesem, tak i nepřesností a chybou snímače.



Graf 7– Vlhkost. Zdroj: vlastní

Posledním graf zobrazuje koncentraci oxidu uhelnatého. Došlo zde i k zaznamenání velkých hodnot, které trvaly téměř 2 minuty.



Graf 8– Oxid uhelnatý. Zdroj: vlastní

### **6.3 Zhodnocení obou měření**

Obě měření probíhala bez problému, nevyskytl se žádný technický problém na letounu ani na elektronice v něm uložené. Díky těmto měřením se zajistilo, že systémy pracují správně a jsou zcela funkční.

## **Závěr**

Cílem práce bylo použít a zprovoznit dodané snímače sloužící pro měření meteorologických dat a navrhnout k nim pouzdro, do kterého se tyto prvky nainstalují, provedení finálního záletu s nainstalovanými prvky, testování správnosti jejich funkcí a spolehlivosti a vyhodnocení naměřených dat.

V úvodu práce jsme popsali stručnou historii prostředků a následnou analýzu způsobů komunikace a datových přenosů pro bezpilotní letouny a přenosy dat na bezpilotním prostředku Stalker, kde jsme jednotlivé části rozebírali podrobněji.

V další části jsme přiblížili zálet a zprovoznění nového motorového kluzáku a malé vzducholodi ACC06M.

Následně jsme objasnili instalaci elektronických zařízení pro snímání meteorologických veličin.

Provedli jsme měření s motorovým kluzákem, kde byly zaznamenány meteorologické veličiny jako teplota, vlhkost, prachové částice a oxid uhelnatý. Tyto veličiny jsme následně zpracovali v programu Microsoft Excel, kde jsme vytvořili grafy, které vypovídají o množství daných veličin v závislosti na čase.

Realizace této práce byla náročná, neboť jsme se s komunikačními zařízeními a přenosy dat seznamovali až v průběhu řešení práce. Objevovaly se překážky, které musely být překonávány. Tato problematika přenosu dat není vůbec jednoduchá, jelikož si musíme dát pozor, v jakých frekvencích můžeme pracovat a jaké frekvence jsou zakázané. Využití zakázaných frekvencí je pokutováno nemalými částkami.

Komunikace a přenosy dat se dnes nemusí realizovat jen pomocí rádiových frekvencí, jak tomu bývalo, ale i pomocí pokročilých technologií ISM a GSM modemu, či jinou internetovou formou, která by mohla být nainstalována právě do segmentového pouzdra. S motorovým kluzákem se nám pracovalo velmi dobře. Bohužel není reálné zabudování datového přenosu, umožňuje pouze datový záznam, tudíž je hlavní použití ISM a GSM modemu pro vzducholod'.

Pro zařízení, která se instalovala na letoun, bylo potřeba vyrobit pouzdro, do kterého by se prvky upevnily. Vyhotovili jsme návrh univerzálního pouzdra použitelného pro kluzák i vzducholod', který je připraven pro 3D tiskárnu. Z důvodu absence náplní

v 3D tiskárně muselo být v době letů s měřením vyhotoveno provizorní pouzdro, které bude v co nejkratším časovém intervalu nahrazeno.

Provedením letů se zápisem a následným vyhodnocením naměřených dat jsme ukázali a potvrdili správnost zapojení všech systémů. Jako další budoucí možné vylepšení tohoto projektu by bylo zajištění přenosu videa a nainstalování GPS přijímače.

## Použitá literatura

- [1] Zamyšlení nad uplatněním UAV v bezpečnostní praxi. *uav.estranky*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.uav.estranky.cz/clanky/autor-s-texts—autorovy-prispevky/zamysleni-nad-uplatnenim-uav-v-bezpecnostni-praxi.html>
- [2] Metrologie v praxi. *statspol*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.statspol.cz/cs/wp-content/uploads/2013/05/request2006/sbornik/cezova.pdf>
- [3] Telemetrie v modelech letadel. *RCModely*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.rcmodely.cz/archiv/2014/5/6/>
- [4] VÍTOVEC, Jindřich. *Telemetrie a přenos dat*. Praha: České vysoké učení technické, 1985.
- [5] Aeroškola: Díl čtvrtý, RC soupravy. *RC noviny*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://www.rcnoviny.cz/2011/02/aeroskola-dil-ctvrty-rc-soupravy/#0\\_zacatek](http://www.rcnoviny.cz/2011/02/aeroskola-dil-ctvrty-rc-soupravy/#0_zacatek)
- [6] Využívání vymezených rádiových kmitočtů. *Český telekomunikační úřad*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/vyuzivani-vymezenych-radiovykh-kmitoctu>
- [7] Kmitočty televizních kanálů pro digitální vysílání v České republice. *Česká televize*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/vse-o-ct/technika/digitalni-vysilani-dvb-obecne/kmitocty-televiznich-kanalu/>
- [8] SOBOTKA, Vojtěch. *Certifikace mikro UAV ve vzdušném prostoru ČR*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Strojního inženýrství, 2014. 43 s.
- [9] Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/04.2012-7 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování za řízení krátkého dosahu. *Český telekomunikační úřad*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok\\_2012/vo-r\\_10-04\\_2012-07.pdf](http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok_2012/vo-r_10-04_2012-07.pdf)
- [10] Všeobecné oprávnění č. VO-R/12/09.2010-12 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování za řízení pro širokopásmový přenos dat v pásmech 2,4 GHz až 66 GHz. *Český telekomunikační úřad*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok\\_2010/vo-r\\_12-09\\_2010-12.pdf](http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok_2010/vo-r_12-09_2010-12.pdf)
- [11] BOJKO, Jan. *Návrh a konstrukce řízení bezpilotního prostředku pro měření parametrů přízemní vrstvy atmosféry*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB-Technická Univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2014. 49s.

- [12] STUHLÍK, Aleš. *Telemetrie bezpilotního prostředku pro měření parametrů přízemní vrstvy atmosféry*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB-Technická Univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2014. 51s.
- [13] PLOS, Richard. *Paragliding: moderní učebnice létání s padákovými kluzáky*. 4. vyd. Cheb: Svět křídel, 2008. ISBN 978-80-86808-47-5.
- [14] Dualsky XM4255EA-4.5 .46 790Kv. *JB hobbies*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <https://www.jb-hobbies.com/presta/brushless-dc-motors/3-xm4255ea-45-.html>
- [15] OPTIC 6 SPORT 2,4 GHz (mode 1), přijímač MINIMA 6S. *Pecka – modelář*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/rc-soupravy-a-prislusenstvi/rc-soupravy/rc-soupravy-hitec/1hi1095-optic-6-sport-2-4-ghz>
- [16] INSTRUCTION MANUAL for Futaba 7C-2.4GHz. *Futaba*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://manuals.hobbico.com/fut/7c-2\\_4ghz-manual.pdf](http://manuals.hobbico.com/fut/7c-2_4ghz-manual.pdf)
- [17] Polétavý prach – PM10. *Arnika*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://arnika.org/poletavy-prach-pm10>
- [18] Datasheet SHARP GP2Y1010AU0F. *Compact Optical Dust Sensor. 2006*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/gp2y1010au\\_e.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/gp2y1010au_e.pdf)
- [19] Teplota a její měření. *tzbinfo*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3115-teplota-a-jeji-mereni>
- [20] Datasheet SHT1x. *Humidity and Temperature Sensor*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [https://www.sensirion.com/fileadmin/user\\_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity\\_Sensors/Sensirion\\_Humidity\\_Sensors\\_SHT1x\\_Datasheet\\_V5.pdf](https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/Humidity_Sensors/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT1x_Datasheet_V5.pdf)
- [21] 3.3 VLHKOST. *eautomatizace*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmr/033-Vlhkost.htm>
- [22] TECHNICAL DATA MQ-135 GAS SENSOR. *Technical data*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.futurlec.com/Datasheet/Sensor/MQ-135.pdf>



- [23] Oxid uhelnatý jako „tichý zabiják“. *alarmsecurity*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.alarmsecurity.cz/www-alarmsecurity-cz/5-TECHNICKA-PODPORA/14-Oxid-uhelnaty-tichy-zabijak>
- [24] CircularWireless 1.3 GHz SPW12 RCHP SkewPlanar Wheel Antenna. *RC depot*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [https://www.rcdepothobbies.com/Circular\\_Wireless\\_1\\_3\\_GHz\\_SPW12\\_RCHP\\_Skew\\_Planar\\_W\\_p/spw12.htm](https://www.rcdepothobbies.com/Circular_Wireless_1_3_GHz_SPW12_RCHP_Skew_Planar_W_p/spw12.htm)
- [25] Sircana's Bucket. *photobucket*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://s1179.photobucket.com/user/sircana/media/IMG\\_5292\\_zpsac8a4ff8.jpg.html](http://s1179.photobucket.com/user/sircana/media/IMG_5292_zpsac8a4ff8.jpg.html)
- [26] Mapa. *Googlemaps*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@49.8164682,18.1653547,1040a,20y,270h,41.35t/data=!3m1!1e3>
- [27] Mapa. *Googlemaps*. [online]. 2.5.2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/place/V%C5%A0B+-+Technick%C3%A1+univerzita+Ostrava+-+Planet%C3%A1rium+Ostrava/@49.8314295,18.1409187,850a,20y,41.36t/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x0:0xec8abdc0ce29160>

## Seznam obrázků

Obrázek 1– Bezpilotní letoun Stalker [12] .....	21
Obrázek 2– Porovnání kruhově polarizované antény s běžnou anténou [24].....	24
Obrázek 3– Směrová anténa Circular Wireless [25] .....	25
Obrázek 4– Konstrukce tříkolky. Zdroj: vlastní .....	28
Obrázek 5– Ovladač pro paraglide. Zdroj: vlastní.....	30
Obrázek 6– Vzducholod' ACC06M. Zdroj: vlastní .....	33
Obrázek 7– Ovladač vzducholodi Futaba T7C. Zdroj: vlastní .....	35
Obrázek 8– Snímač prachových částic. Zdroj: vlastní .....	38
Obrázek 9– Snímač teploty. Zdroj: vlastní .....	39
Obrázek 10– Snímač oxidu uhelnatého. Zdroj: vlastní.....	40
Obrázek 11– Propojení snímačů s deskou Arduino. Zdroj: vlastní .....	41
Obrázek 12– Návrh pouzdra se snímači. Zdroj: vlastní.....	42
Obrázek 13– Provizorní pouzdro. Zdroj: vlastní .....	43
Obrázek 14- Návrh možného budoucího pouzdra. Zdroj: vlastní .....	44
Obrázek 15– Jednotlivý segment. Zdroj: vlastní .....	44
Obrázek 16– Připravený motorový paraglide k měření. Zdroj: vlastní .....	45
Obrázek 17– Zápis naměřených veličin. Zdroj: vlastní.....	46
Obrázek 18– Měřená lokalita [26] .....	46
Obrázek 19– Měřená lokalita u Planetária Ostrava [27].....	49

## Seznam tabulek

Tabulka 1– Kmitočty kanálů České televize [7].....	16
Tabulka 2– Technické a konstrukční parametry [11] .....	20
Tabulka 3– Technické parametry konstrukce tříkolky. Zdroj: vlastní.....	27
Tabulka 4– Parametry padáku. Zdroj: Společnost Sky Paragliders.....	28
Tabulka 5– Parametry baterie. Zdroj: vlastní .....	29
Tabulka 6– Parametry elektromotoru [14].....	29
Tabulka 7– Vrtule. Zdroj: vlastní .....	30
Tabulka 8– Technické parametry vzducholodi ACC06M. Zdroj: předávací protokol .....	34
Tabulka 9– Rozměry vrchní část. Zdroj: vlastní.....	42
Tabulka 10– Rozměry spodní části. Zdroj: vlastní .....	42

## Seznam grafů

Graf 1- Závislost teploty na čase. Zdroj: vlastní.....	47
Graf 2– Koncentrace PM částic. Zdroj: vlastní .....	47
Graf 3– Vlhkost. Zdroj: vlastní.....	48
Graf 4– Oxid uhelnatý. Zdroj: vlastní.....	48
Graf 5– Závislost teploty na čase. Zdroj: vlastní .....	50
Graf 6– Koncentrace PM částic. Zdroj: vlastní .....	50
Graf 7– Vlhkost. Zdroj: vlastní.....	51
Graf 8– Oxid uhelnatý. Zdroj: vlastní.....	51